

COMUNE DI RAGUSA



PROGETTAZIONE DEFINITIVA

INTERVENTO DI MIGLIORAMENTO SISMICO DEL CORPO AULE
DELL'EDIFICIO SCOLASTICO G. PASCOLI DI RAGUSA IBLA

RELAZIONE

DATA: 11/2021

TITOLO DELL'ELABORATO

REL. 08

**RELAZIONE TECNICA SUI
MATERIALI IMPIEGATI**

PROGETTISTA OPERE STRUTTURALI



PROGEN SRL

VIA MUSCATELLO 19, 95125, CATANIA (CT)

TECNICO INCARICATO:

Prof. Ing. Fabio neri

Arch. Giuseppe Marotta

Sommario

1	Materiali della struttura esistente	3
1.1	Indicazioni di normativa	3
1.2	Programma d'indagini	4
1.3	Rilievo geometrico-strutturale.....	4
1.4	Dettagli costruttivi	5
1.5	Proprietà dei materiali	5
1.6	Verifica e ricostruzione della geometria.....	5
1.7	Materiali.....	6
2	Riepilogo caratteristiche dei materiali opere esistenti e descrizione dei materiali per le nuove opere strutturali	9
2.1	Materiali impiegati nelle opere esistenti.....	9
2.2	Materiali impiegati per le nuove opere.....	10
2.2.1	Acciaio per c.a. B450C.....	10
2.2.2	Conglomerato.....	10
2.2.3	Acciaio per carpenteria metallica S355JR (Pali di fondazione e controventi).....	11
2.2.4	Caratteristiche della rete di PBO strutturale per rinforzo travi perimetrali.....	11

1 Materiali della struttura esistente

Per la quantificazione e localizzazione delle prove si è fatto riferimento alle indicazioni contenute nel cap. 8 del D.M. 17.01.2018.

Per l'edificio oggetto di studio, in considerazione della tipologia dell'opera e del materiale di cui si è entrati in possesso, si è raggiunto un livello di conoscenza Adeguata (LC2).

Per il livello di conoscenza si è fatto riferimento ad una precedente campagna di indagine svolta nel 2015

1.1 Indicazioni di normativa

Si riporta di seguito quanto indicato dalla normativa:

Geometria (carpenteria)- La geometria della struttura può essere nota o in base ad un rilievo, o dai disegni originali. In quest'ultimo caso deve essere effettuato un rilievo visivo a campione per verificare l'effettiva corrispondenza del costruito e degli elementi costruttivi ai disegni. Il rilievo completo, da effettuare qualora non si disponga dei disegni originali, serve a produrre disegni completi di carpenterie. I disegni prodotti dovranno descrivere la geometria della struttura, gli elementi strutturali e le loro dimensioni, e permettere di individuare l'organismo strutturale resistente alle azioni orizzontali e verticali con lo stesso grado di dettaglio di disegni originali. I dati raccolti sulle dimensioni degli elementi strutturali, insieme a quelli riguardanti i dettagli strutturali, saranno tali da consentire la messa a punto di un modello idoneo ad un'analisi lineare o non lineare.

Dettagli costruttivi- Volendo raggiungere il livello di conoscenza LC2, i dettagli costruttivi possono essere noti o da un'*estesa verifica in situ* o parzialmente noti dai disegni costruttivi originali incompleti. In quest'ultimo caso deve essere effettuata una *limitata verifica in situ* delle armature e dei collegamenti presenti negli elementi più importanti con lo scopo di verificare la corrispondenza fra i disegni originali e gli elementi strutturali del costruito. Sia le verifiche in situ limitate che le verifiche in situ estese devono essere effettuate su un'opportuna percentuale degli elementi strutturali primari, per ciascuna tipologia di elemento (rispettivamente 15% o 35%). I dati raccolti devono essere tali da permettere di eseguire verifiche locali di resistenza, nel caso in cui si esegua un'analisi lineare, oppure la messa a punto di un modello non lineare.

Proprietà dei materiali- Esse possono essere note o da estese verifiche in situ oppure dal progetto originale e/o dai certificati di prova originali. In quest'ultimo caso, dovranno essere eseguite anche limitate prove in situ; se i valori ottenuti dalle prove in situ sono minori di quelli disponibili dai disegni o dai certificati originali, dovranno essere eseguite estese prove in situ.

Calcestruzzo: la misura delle caratteristiche meccaniche si ottiene mediante estrazione di campioni ed esecuzione di prove di compressione fino a rottura.

Acciaio: la misura delle caratteristiche meccaniche si ottiene mediante estrazione di campioni ed esecuzione di prove a trazione fino a rottura con determinazione della resistenza a snervamento e della resistenza a deformazione ultima, salvo nel caso in cui siano disponibili certificati di prova di entità conforme a quanto richiesto per le nuove costruzioni, nella normativa dell'epoca.

Metodi di prova non distruttivi: Sono ammessi metodi d'indagine non distruttiva di documentata affidabilità, che non possono essere impiegati in completa sostituzione di quelli sopra descritti, ma sono consigliati a loro integrazione, purché i risultati siano tarati su quelli ottenuti con prove distruttive. Nel caso del calcestruzzo, è importante adottare metodi di prova che limitino l'influenza della carbonatazione degli strati superficiali sui valori di resistenza. I dati raccolti devono essere tali da permettere di eseguire verifiche locali di resistenza, nel caso in cui si esegua un'analisi lineare, oppure la messa a punto di un modello strutturale non lineare. Sia le verifiche in situ limitate che le verifiche in situ estese devono essere effettuate in opportuna quantità secondo quanto indicato nel cap. 8 delle NTC2018. Si fa presente che le percentuali di elementi da verificare ed il numero di

provini da estrarre riportati in tabella hanno valore indicativo e vanno adattati ai singoli casi, tenendo conto dei seguenti aspetti:

- Nel controllo del raggiungimento delle percentuali di elementi indagati, ai fini del rilievo dei dettagli costruttivi, si tiene conto delle eventuali situazioni ripetitive che consentano di estendere ad una più ampia percentuale i controlli effettuati su alcuni elementi strutturali facenti parte di una serie con evidenti caratteristiche di ripetibilità, per uguale geometria e ruolo nello schema strutturale.
- Ai fini delle prove sui materiali è possibile sostituire alcune prove distruttive, non più del 50%, con un più ampio numero, almeno il triplo, di prove non distruttive, singole o combinate, tarate su quelle distruttive.

1.2 Programma d'indagini

Poiché è stato possibile reperire il progetto originale, compreso di piante delle carpenterie, disegni dei dettagli costruttivi e specifiche dei materiali utilizzati, è stato possibile limitare le indagini in accordo con quanto previsto dal cap. 8 del D.M. 17.01.2018.

Tabella C8.5.IV – Livelli di conoscenza in funzione dell'informazione disponibile e conseguenti metodi di analisi ammessi e valori dei fattori di confidenza, per edifici in calcestruzzo armato o in acciaio

Livello di conoscenza	Geometrie (carpenterie)	Dettagli strutturali	Proprietà dei materiali	Metodi di analisi	FC (*)
LC1		Progetto simulato in accordo alle norme dell'epoca e <i>indagini limitate</i> in situ	Valori usuali per la pratica costruttiva dell'epoca e <i>prove limitate</i> in situ	Analisi lineare statica o dinamica	1,35
LC2	Da disegni di carpenteria originali con rilievo visivo a campione; in alternativa rilievo completo ex-novo	Elaborati progettuali incompleti con <i>indagini limitate</i> in situ; in alternativa <i>indagini estese</i> in situ	Dalle specifiche originali di progetto o dai certificati di prova originali, con <i>prove limitate</i> in situ; in alternativa da <i>prove estese</i> in situ	Tutti	1,20
LC3		Elaborati progettuali completi con <i>indagini limitate</i> in situ; in alternativa <i>indagini esaustive</i> in situ	Dai certificati di prova originali o dalle specifiche originali di progetto, con <i>prove estese</i> in situ; in alternativa da <i>prove esaustive</i> in situ	Tutti	1,00

Sia per quello che riguarda i dettagli costruttivi che per le proprietà dei materiali il livello di conoscenza LC2 è stato raggiunto effettuando indagini limitate; in particolare si è tenuto conto delle situazioni ripetitive, ovvero della presenza di elementi che per geometria e ruolo strutturale si configurano come elementi tipologici fra loro omogenei. Concentrando le indagini su tali elementi, la cui presenza è stata verificata anche grazie al progetto originale, è stato possibile estendere ad una più ampia percentuale i controlli.

Inoltre, poiché il progetto è stato effettuato per i soli carichi verticali, le travi presentano caratteristiche di ripetitività anche in elevazione, come emerge dagli elaborati progettuali originali.

Si riportano di seguito le tabelle e una breve descrizione delle indagini effettuate per ottenere il livello di conoscenza LC2.

1.3 Rilievo geometrico-strutturale

Il rilievo geometrico-strutturale ha consentito di accertare la rispondenza dell'opera al progetto originale e contemporaneamente, eventuali difetti costruttivi dell'edificio. Il rilievo è stato esteso a campione per verificare la veridicità al progetto originale.

È stato inoltre necessario verificare che le carpenterie rinvenute nei disegni originali di progetto corrispondano effettivamente allo stato di fatto tramite rilievo visivo a campione. Inoltre, è stata verificata la tipologia di ogni elemento tecnico (scale, solai, fondazioni) tramite ispezione visiva.

1.4 Dettagli costruttivi

Per conoscere i dettagli costruttivi dell'opera si sono effettuate le seguenti indagini:

- Pacometrie;
- Tracce su elementi in c.a;
- Saggi su solai;
- Saggi sulle murature;
- Pozzetti esplorativi.

I dettagli costruttivi delle barre di acciaio (e dei loro diametri) presenti negli elementi in cemento armato sono stati ottenuti da indagini pacometriche e tracce su elementi in cemento armato. In particolare, le prove pacometriche hanno permesso di conoscere il numero di armature degli elementi strutturali senza danneggiare gli stessi. Grazie alle tracce effettuate sugli elementi in c.a si è verificato il risultato ottenuto dalle indagini pacometriche. Da queste due prove si deduce una buona esecuzione del progetto originale.

I saggi effettuati sui solai e sulle murature hanno permesso di conoscere la tipologia strutturale e verificare il vero valore dei carichi che questi trasmettono agli elementi strutturali in c.a. Anche in questo caso le informazioni ottenute dal progetto originale sono veritiere. La verifica della tipologia di fondazione è stata fatta mediante la realizzazione di un pozzetto esplorativo che ha permesso di conoscere sia l'effettiva esistenza di plinti di fondazione in c.a che le loro dimensioni.

Le indagini per il rilievo dei dettagli costruttivi sono state effettuate su elementi ripetitivi per geometria e ruolo strutturale, come indicato nel relativo elaborato grafico; questo ha permesso di estendere la conoscenza ad un numero di elementi strutturali (fra travi e pilastri) molto maggiore rispetto a quelli richiesti, il cui numero varia a seconda della tipologia di elemento che si sceglierà di indagare.

1.5 Proprietà dei materiali

Le proprietà dei materiali si sono ottenute con l'ausilio di prove distruttive, e non, effettuate sugli elementi strutturali in c.a. In particolare, per il calcestruzzo sono state effettuate prove sclerometriche e prove di compressione su carote cilindriche prelevate dalla struttura, mentre, per l'acciaio sono stati prelevate alcune barre successivamente sottoposte a prova di trazione.

Relativamente alle proprietà dei materiali il 50% delle prove distruttive è stato sostituito, come previsto dalla normativa, da un numero triplo di indagini non distruttive. Si sono eseguite le seguenti prove:

- N°17 carotaggi complessivi fra travi e pilastri, e relative prove di schiacciamento sui calcestruzzi;
- N°8 prelievi di barre di acciaio fra travi e pilastri, e relative prove di trazione;
- N°37 prove non distruttive (Sclerometriche) complessive per valutare la resistenza dei calcestruzzi.

Inoltre, sul 25% di quest'ultime sono stati effettuati dei saggi di ispezione per verificare e tarare la prove pacometriche, che sono state eseguite sul 100% degli elementi.

Sebbene non previste dalla norma, al fine di determinare eventuali fenomeni di degrado dei calcestruzzi, si sono effettuate delle prove di carbonatazione sulle carote.

1.6 Verifica e ricostruzione della geometria

La conoscenza della costruzione oggetto della verifica è stata determinata dal progetto originale e verificata con l'ausilio del rilievo geometrico, a campione e delle indagini effettuate in situ con l'obiettivo di individuare:

- Tipologia strutturale;
- Dimensioni e orientamento degli elementi strutturali;
- tipologia e orditura degli orizzontamenti;
- tipologia e orditura della copertura;

- dettagli costruttivi relativi alla quantità di armatura presente negli elementi strutturali;
- dettagli costruttivi relativi ai carichi trasmessi da solai e murature;
- presenza di elementi, anche non strutturali, ad elevata vulnerabilità;
- proprietà meccaniche dei materiali;
- tipologia e dimensioni delle fondazioni.

Nel caso in esame il livello di conoscenza raggiunto è quello di “conoscenza adeguata” LC2.

I dati raccolti sono tali da permettere la messa a punto di un modello strutturale idoneo all'esecuzione di un'analisi lineare o non lineare e di eventuali verifiche locali di resistenza ed ha permesso di acquisire un livello di conoscenza adeguata LC2.

Il fattore di confidenza FC sarà pari a 1,20.

1.7 Materiali

Attraverso le indagini in situ, in particolar modo mediante il prelievo di carotaggi e l'uso di sclerometro, si è ricavata la resistenza caratteristica del cemento ad oggi, il quale ha mostrato valori medi relativamente omogenei in tutta la struttura ed una resistenza caratteristica media discreta, i cui valori sono stati distinti per tipologia di elementi strutturali in fase di diagnosi, poi unificati in fase di analisi.

È importante rilevare come la resistenza valutata su una carota, seppur estratta dalla struttura, sia diversa della resistenza in opera del calcestruzzo. Infatti, i parametri che influenzano il valore della resistenza di una carota sono legati alla geometria (diametro, rapporto h/d), alla localizzazione dei carotaggi, alla modalità di conservazione delle carote prima della prova, all'eventuale presenza di ferri d'armatura (evitata grazie alle indagini pacometriche preliminari), all'effetto *tormento*, alla direzione di prelievo, al tempo e alla temperatura cui l'opera è maturata. Quindi, il valore “grezzo” di resistenza ottenuto dallo schiacciamento delle carote prelevate dalla struttura e fornito dal laboratorio ($R_{c-carota}$) dovrà essere opportunamente corretto al fine di ottenere la resistenza effettiva del calcestruzzo in opera ($R_{c-IN SITU}$) mediante la relazione:

$$R_{c-IN SITU} = F_{dia} \cdot F_{h/d} \cdot F_{mc} \cdot F_{Fe} \cdot F_{Tor} \cdot F_{Dir} \cdot R_{c-carota}$$

Dove:

F_{dia} = coefficiente correttivo funzione del diametro della carota;

$F_{h/d}$ = coefficiente correttivo funzione della snellezza e della resistenza a compressione del calcestruzzo stesso;

F_{mc} = coefficiente correttivo funzione delle condizioni di conservazione delle carote dopo l'estrazione e fino al momento della prova;

F_{Fe} = coefficiente correttivo che tiene conto dell'eventuale presenza di armatura nel provino;

F_{tor} = coefficiente correttivo che tiene conto dell'effetto derivante dal “tormento” dell'utensile;

F_{dir} = coefficiente correttivo funzione della direzione del carotaggio rispetto a quella di posa in opera del conglomerato.

I valori ricavati sono riportati nella seguente tabella.

Tabella 1.1 – Calcolo della resistenza a compressione del calcestruzzo in opera

	Elemento	Piano	Sigla	f_c	d	h	h/d	$F_{h/d}$	F_{dia}	F_{fe}	F_{mc}	F_{tor}	F_{dir}	C_{tot}	f_{c_sito}	R_{c_sito}
Pilastrini del corpo A	48	p.-1	c1	26.86	50.80	100.50	1.98	1.22	1.06	1	1	1.07	1.08	1.49	39.95	48.14
	57		c2	33.02	87.30	169.60	1.94	1.22	1	1	1	1.05	1.08	1.38	45.47	54.78
	24	p.0	c5	23.08	87.47	168.00	1.92	1.22	1	1	1	1.10	1.08	1.44	33.30	40.12
	22	p.1	c6	22.63	87.45	170.00	1.94	1.22	1	1	1	1.10	1.08	1.44	32.65	39.33
	58		c7	14.34	87.60	167.50	1.91	1.32	1	1	1	1.15	1.08	1.63	23.40	28.19
	56	p.2	c8	16.02	87.30	168.00	1.92	1.32	1	1	1	1.12	1.08	1.59	25.46	30.68
														R_{m_opera}	33.4	40.2
														R_{k_opera}	25.4	30.6
Pilastrini del corpo B	3	p.0	c3	23.08	50.86	99.3	1.95	1.22	1.06	1	1	1.10	1.08	1.53	35.29	42.52
	18bis	p.0	c4	18.69	87.27	155.6	1.78	1.32	1	1	1	1.12	1.08	1.59	29.70	35.79
	22 bis	p.2	c8	16.02	87.30	168.00	1.92	1.32	1	1	1	1.12	1.08	1.59	25.46	30.68
														R_{opera}	30.2	36.3
														R_{ck}	22.2	26.7
Travi del corpo A	T 45-48	p.-1	c1	27.85	50.9	101.6	2.00	1.22	1.06	1	1	1.07	1.08	1.49	41.43	49.91
	T57-61	p.-1	c2	24.01	87.35	171.5	1.96	1.22	1	1	1	1.10	1.08	1.44	34.64	41.73
	T26-24	p.0	c4	24	87.5	170	1.94	1.22	1	1	1	1.10	1.08	1.44	34.62	41.72
	T22-20	p.1	c5	29.27	87.32	173	1.98	1.22	1	1	1	1.07	1.08	1.40	41.07	49.49
	T57-61	p.1	c6	25.35	87.15	83.2	0.95	1	1	1	1	1.10	1.08	1.18	29.98	36.12
	T22-24	p.2	c7	13.27	87.35	169	1.93	1.32	1	1	1	1.15	1.08	1.63	21.65	26.09
	T57-53	p.3	c8	19.29	87.5	170	1.94	1.32	1	1	1	1.12	1.08	1.59	30.66	36.94
														R_{opera}	33.4	40.3
														R_{ck}	25.4	30.6
Travi del corpo B	T5-6	p.-1	c3	29.54	50.8	100.7	1.98	1.32	1.06	1	1	1.07	1.08	1.61	47.54	57.28
														R_{ck}	39.5	47.6

Per il corpo “A” Il conglomerato cementizio delle opere esistenti è classificabile come C25/30.

I parametri utilizzati in sede di verifica sono i seguenti:

Tabella 1.2 – caratteristica del calcestruzzo per il corpo A

Classe	25	/	30
- resistenza cilindrica caratteristica	f_{ck}	=	25.0 MPa
- resistenza cubica caratteristica	R_{ck}	=	30.0 MPa
- resistenza media a compressione (par. 11.2.10.1)	f_{cm}	=	33.0 MPa
- modulo elastico (par. 11.2.10.3)	E	=	31476 MPa
- resistenza media a trazione (par. 11.2.10.2)	f_{ctm}	=	2.56 MPa
- resistenza caratteristica a trazione (par. 11.2.10.2)	f_{ctk}	=	1.80 MPa
- resistenza caratteristica di aderenza (par. 4.1.2.1.1.4)	f_{bk}	=	4.04 MPa

Per il corpo “B”, invece, Il conglomerato cementizio delle opere esistenti è classificabile come C20/25.

I parametri utilizzati in sede di verifica sono i seguenti:

Tabella 1.3 - caratteristica del calcestruzzo per il corpo B

Classe	20	/	25
- resistenza cilindrica caratteristica	f_{ck}	=	20.0 MPa
- resistenza cubica caratteristica	R_{ck}	=	25.0 MPa
- resistenza media a compressione (par. 11.2.10.1)	f_{cm}	=	28.0 MPa
- modulo elastico (par. 11.2.10.3)	E	=	29962 MPa
- resistenza media a trazione (par. 11.2.10.2)	f_{ctm}	=	2.21 MPa
- resistenza caratteristica a trazione (par. 11.2.10.2)	f_{ctk}	=	1.55 MPa
- resistenza caratteristica di aderenza (par. 4.1.2.1.1.4)	f_{bk}	=	3.48 MPa

Le caratteristiche medie di resistenza dell'acciaio sono state valutate mediante prove di trazione su "spezzoni" di ferro prelevati in situ.

Tabella 1.4 - Caratteristica di resistenza dell'acciaio in opera

Elemento	Piano	f_y	f_t
P33	-1	450	671
P38	1	370.1	525
P26	0	424.1	685
P38	2	386.3	550.9
T 22-24	2	444.2	658.9
T 56-60	-1	423.9	710.8
T 57-61	0	409.9	682.5
T 58-62	1	433.8	660.2
Valore medio		417.79	643.04

Bisogna inoltre sottolineare che per le analisi dinamiche lineari con fattore di struttura q , i parametri di calcolo utilizzati per la modellazione si trovano dividendo i valori medi per il fattore di confidenza. Per le analisi statiche non lineari, invece, per il calcolo della capacità di resistenza degli elementi fragili primari, le resistenze medie dei materiali vengono divise sia per il fattore di confidenza che per i coefficienti parziali di sicurezza.

Si utilizzeranno pertanto i seguenti parametri:

Tabella 1.5 - Resistenza di calcolo di acciaio e calcestruzzo

Corpo		Valori dei medi dei parametri	Tipo di Analisi	Elementi/meccanismi duttili	Elementi/meccanismi fragili
A	Resistenza media a compressione:	$f_{cm}=33.4$ Mpa	Dinamica con fattore di Struttura q	$\frac{f_m}{F_c} = 27.80MPa$	$\frac{f_m}{F_c \gamma_c} = 18.53MPa$
	Resistenza a snervamento dell'acciaio	$F_{ym}=415$ Mpa	Dinamica con fattore di Struttura q	$\frac{f_{ym}}{F_c} = 345.83MPa$	$\frac{f_{ym}}{F_c \gamma_s} = 300.72MPa$
B	Resistenza media a compressione:	$f_{cm}=30.2$ Mpa	Dinamica con fattore di Struttura q	$\frac{f_m}{F_c} = 25.15MPa$	$\frac{f_m}{F_c \gamma_c} = 16.67MPa$
	Resistenza a snervamento dell'acciaio	$F_{ym}=415$ Mpa	Dinamica con fattore di Struttura q	$\frac{f_{ym}}{F_c} = 345.83MPa$	$\frac{f_{ym}}{F_c \gamma_s} = 300.72MPa$

2 Riepilogo caratteristiche dei materiali opere esistenti e descrizione dei materiali per le nuove opere strutturali

2.1 Materiali impiegati nelle opere esistenti

In accordo con quanto riportato al par. 1.7, sono riportate le caratteristiche dei materiali esistenti per i diversi corpi strutturali.

Per il corpo "A" Il conglomerato cementizio delle opere esistenti è classificabile come C25/30.

I parametri utilizzati in sede di verifica sono i seguenti:

Tabella 2.1 – caratteristica del calcestruzzo per il corpo A

Classe	25	/	30	
- resistenza cilindrica caratteristica	f_{ck}	=	25.0	MPa
- resistenza cubica caratteristica	R_{ck}	=	30.0	MPa
- resistenza media a compressione (par. 11.2.10.1)	f_{cm}	=	33.0	MPa
- modulo elastico (par. 11.2.10.3)	E	=	31476	MPa
- resistenza media a trazione (par. 11.2.10.2)	f_{ctm}	=	2.56	MPa
- resistenza caratteristica a trazione (par. 11.2.10.2)	f_{ctk}	=	1.80	MPa
- resistenza caratteristica di aderenza (par. 4.1.2.1.1.4)	f_{bk}	=	4.04	MPa

Per il corpo "B", invece, Il conglomerato cementizio delle opere esistenti è classificabile come C20/25.

I parametri utilizzati in sede di verifica sono i seguenti:

Tabella 2.2 - caratteristica del calcestruzzo per il corpo B

Classe	20	/	25	
- resistenza cilindrica caratteristica	f_{ck}	=	20.0	MPa
- resistenza cubica caratteristica	R_{ck}	=	25.0	MPa
- resistenza media a compressione (par. 11.2.10.1)	f_{cm}	=	28.0	MPa
- modulo elastico (par. 11.2.10.3)	E	=	29962	MPa
- resistenza media a trazione (par. 11.2.10.2)	f_{ctm}	=	2.21	MPa
- resistenza caratteristica a trazione (par. 11.2.10.2)	f_{ctk}	=	1.55	MPa
- resistenza caratteristica di aderenza (par. 4.1.2.1.1.4)	f_{bk}	=	3.48	MPa

Le caratteristiche medie di resistenza dell'acciaio sono state valutate mediante prove di trazione su "spezzoni" di ferro prelevati in situ.

Tabella 2.3 - Caratteristica di resistenza dell'acciaio in opera

Elemento	Piano	f_y	f_t
P33	-1	450	671
P38	1	370.1	525
P26	0	424.1	685
P38	2	386.3	550.9
T 22-24	2	444.2	658.9
T 56-60	-1	423.9	710.8
T 57-61	0	409.9	682.5
T 58-62	1	433.8	660.2
Valore medio		417.79	643.04

2.2 Materiali impiegati per le nuove opere

Le opere per il miglioramento sismico sono composte da calcestruzzo tipo C35/45 e da acciaio tipo B450C.

2.2.1 Acciaio per c.a. B450C

Le barre di armatura ad aderenza migliorata sono in acciaio di tipo B450C con le seguenti caratteristiche meccaniche:

- classe del materiale	B 450 C
- modulo elastico	$E = 210000$ MPa
- tensione di rottura	$f_{ts} = 540$ MPa
- tensione di snervamento caratteristica	$f_{ys} = 450$ MPa
- tensione di snervamento di calcolo	$f_{yd} = 391.3$ MPa
- coefficiente parziale del materiale	$\gamma_s = 1.15$

2.2.2 Conglomerato

Il conglomerato cementizio dovrà essere confezionato nel rispetto delle Linee Guida sul calcestruzzo strutturale edite dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (febbraio 2008) e della norma UNI EN 206-1:2006 riportate sinteticamente in tabella. In progetto, oltre che per la classe di esposizione ma anche per esigenze di resistenza degli elementi, le superfici di conglomerato dovranno rispondere ai seguenti requisiti minimi:

- classe di esposizione	XC4
- classe di resistenza minima	C35/45
- classe di consistenza	S4
- rapporto acqua/cemento	$a/c \leq 0.50$
- dosaggio cemento	≥ 320 kg/mc
- dimensione massima dell'aggregato (consigliata)	20 mm
- ricoprimento	≥ 25 mm
- copriferro	≥ 30 mm

I parametri meccanici principali per la classe C35/45 sono i seguenti:

Classe	35 / 45	
-resistenza cilindrica caratteristica	$f_{ck} = 35$	MPa
-resistenza cubica caratteristica	$R_{ck} = 45$	MPa
-resistenza media a compressione (par. 11.2.10.1)	$f_{cm} = 43$	MPa
-modulo elastico (par. 11.2.10.3)	$E = 34077.15$	MPa
-resistenza di calcolo a compressione (par. 4.1.2.1.1.1)	$f_{cd} = 19.83$	MPa
-resistenza media a trazione (par. 11.2.10.2)	$f_{ctm} = 3.2$	MPa
-resistenza caratteristica a trazione (par. 11.2.10.2)	$f_{ctk} = 2.2$	MPa
-resistenza di calcolo a trazione (par. 4.1.2.1.1.2)	$f_{ctd} = 1.47$	MPa
-resistenza caratteristica per aderenza (par. 4.1.2.1.1.4)	$f_{bk} = 4.95$	MPa
-resistenza di calcolo per aderenza (par. 4.1.2.1.1.4)	$f_{bd} = 3.3$	MPa
-coefficiente parziale del materiale	$\gamma_c = 1.5$	-

2.2.3 Acciaio per carpenteria metallica S355JR (Pali di fondazione e controventi)

Le parti in carpenteria metallica sono previste in acciaio di tipo S355JR ed hanno le seguenti caratteristiche meccaniche:

- modulo elastico $E = 210000 \text{ MPa}$
- modulo di elasticità tangenziale $G = 136620 \text{ MPa}$
- tensione di rottura $f_{ta} = 510 \text{ MPa}$
- tensione di snervamento caratteristica $f_{ya} = 355 \text{ MPa}$
- tensione di snervamento di calcolo $f_{yda} = 338.1 \text{ MPa}$
- coefficiente parziale del materiale $\gamma_a = 1.05$

2.2.4 Caratteristiche della rete di PBO strutturale per rinforzo travi permietrali

- Tipologia di tessuto scelto PBO I STRATO
- Larghezze standard disponibili per il rinforzo scelto 100, 250 mm
- Spessore equivalente $t_f 0.067 \text{ mm}$
- Modulo elastico del tessuto secco $E_f 228000 \text{ MPa}$
- Condizioni di esposizione Esterna
- Fattore di conversione ambientale $\eta_a 0.8$ Fattore parziale per sistema FRCM $\gamma_m = 1.5$
- Tipologia di distacco Distacco intermedio
- Tensione di progetto $\sigma_{fd} 1416.0 \text{ MPa}$
- Deformazione di progetto $\epsilon_{fd} 0.0062$

La rete va applicata su supporto in malta fibrorinforzata tipo M15 o superiore.